

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ УЗЛОВ БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ

В статье приводится описание базовой техники позиционирования, приведена классификация существующих схем, локализации, анализируется их применимость в производственных помещениях, а также на открытой местности.

Ключевые слова: беспроводная сеть, сигнальные узлы, плотность узлов, невыпуклые топологии.

ANALYSIS METHODS OF POSITIONING THE WIRELESS SENSOR NETWORK NODES

The article describes the basic techniques of positioning, is a classification of existing schemes, localization, analyzes their applicability in industrial premises, as well as in open areas.

Keywords: wireless network signal nodes, node density, non-convex topology.

Текущее состояние электроники и компьютерных технологий привело к широкому распространению беспроводных автономных устройств. Такие беспроводные сети состоят из множества узлов, которые собирают данные о физическом мире, обрабатывают и передают информацию посредством радиосвязи. Конфигурирование вручную больших сетей миниатюрных устройств оказывается непрактичным: узлы должны обладать способностью к самоорганизации, должна присутствовать возможность администрировать и программировать сеть как единое целое. Часто в приложениях беспроводных сетей возникает задача — определить физические координаты расположения устройств сети. Ниже дано описание базовой техники позиционирования, приведена классификация существующих схем локализации, анализируется их применимость в производственных помещениях, а также на открытой местности.

Базовая техника позиционирования

Декомпозиция задачи локализации узлов ведет к двум проблемам: первая связана с заданием системы координат, вторая — проблема вычисления расстояния между узлами.

Система координат может быть глобальной (например, если источником эталонных координат является устройство, оборудованное GPS). Система координат может быть и относительной, в случае, когда узлы используют некоторые условные координаты.

Сигнальные узлы. Так называемые *сигнальные узлы* используются для локализации сети в глобальных координатах. Для этого сигнальным узлам априорно заданы физические координаты, или они оборудуются модулями GPS. Для выполнения процедуры локализации на плоскости требуется минимум три неколлинеарных сигнальных узла (то есть не лежащих на параллельных прямых) и как минимум четыре некомпланарных (лежащих на попарно непараллельных плоскостях) узла для локализации в трехмерном пространстве.

Существующие алгоритмы различными способами используют сигнальные узлы. Одни алгоритмы локализуют узлы в относительной системе координат, затем используют несколько сигнальных узлов для преобразования относительных координат в глобальные. Другие используют сигнальные узлы для непосредственного вычисления глобальных координат узлов.

Существует два метода вычисления дистанции на основе радиосигнала. Первый основан на вычислении числа скачков, второй на измерении силы сигнала.

Методы, основанные на анализе силы сигнала. В теории энергия радиосигнала убывает пропорционально корню квадратному из расстояния до источника излучения, что делает возможным оценить расстояние на основе имеющейся информации о силе сигнала. Недостатками такого подхода является высокая обусловленность точности вычисления координат средой распространения сигнала: некоторые объекты могут поглощать, отражать или вносить искажения в форму сигнала. Поэтому такой подход не получил распространения на сегодняшний день.

Методы, основанные на анализе топологии сети (подсчет скачков). В основе метода подсчета скачков лежит следующее принципиальное соображение: если любые два узла находятся в зоне прямой видимости друг друга (то есть могут вести обмен посредством радиопередачи), то дистанция между ними с высокой вероятностью меньше чем R , где R — максимальная дальность передачи радио. Таким образом, обычные сведения о маршрутах следования пакетов могут служить информацией для выполнения процедуры локализации.

Методы, основанные на анализе разницы времени регистрации сигнала. Существуют подходы, где вычисление координат осуществляется с использованием дополнительного оборудования (например, различных акустических приборов). При таком подходе достигается большая точность, однако усложнение оборудования узлов ведет к увеличению суммарной стоимости, а также снижению автономного времени работы узлов.

В алгоритмах, основанных на оценке разницы прихода времени сигнала, узлы оборудованы динамиком и микрофоном. В некоторых системах применяется ультразвуковое оборудование. Базовая математическая техника не зависит от типа аппаратного обеспечения.

К недостаткам таких систем следует отнести дополнительное оборудование, необходимое для работы с аудиосигналами. А также необходимость калибровки, так как микрофоны и динамики не обладают эквивалентными передающими характеристиками. Помимо этого, скорость распространения звука в воздухе зависит от температуры и влажности, что может повлиять на погрешность процедуры локализации. Кроме этого, в некоторых приложениях узлы не всегда находятся в зоне прямой видимости.

Методы, основанные на анализе информации об углах приема сигналов. Цифровые компасы. Некоторые алгоритмы для вычисления координат используют информацию об углах прихода сигналов. Такая информация обычно собирается посредством микрофонов или радио. Такую информацию также можно получить, используя оптические методы связи.

В таких методах несколько (3—4) разнесенных микрофонов улавливают один и тот же сигнал. Анализируя фазу или разницу прихода сигнала в разных микрофонах, можно определить угол прихода сигнала.

Подобные методы дают точность порядка нескольких градусов [8]. Однако оборудование, необходимое для вычисления угла сигнала, гораздо сложнее и дороже, чем оборудование, необходимое для анализа разницы времени прихода сигнала, так как каждый узел должен иметь один динамик и несколько микрофонов. Помимо этого, для осуществления пеленгации, микрофоны должны быть разнесены, что влияет на размер устройств сети.

Иногда в комплект оборудования входит цифровой компас. Цифровой компас дает информацию об ориентации узла в пространстве, которая может оказаться полезной вместе с информацией об угле.

На практике, только нескольким алгоритмам позиционирования требуется информация об углах сигнала, остальные могут обходиться без таковой.

Особенности построения алгоритмов локализации

Системные ресурсы. Вычислительные ресурсы узлов сенсорной сети весьма ограничены. Для экономии энергии узлы почти всегда находятся в спящем режиме и на связь выходят только периодически.

Помимо этого, сенсорные сети обычно развертываются на масштабных территориях с числом узлов порядка нескольких сотен. Это обстоятельство ведет к тому, что оборудование узлов должно быть дешевым, а развертывание сети — тривиальным.

Локализация необходима для обеспечения нескольких функций сети. Тем не менее, это не является основной задачей сети. Локализация должна стоить на столько дешево на сколько это возможно и, в то же время, давать удовлетворительный результат. Это означает, что разработчики должны позаботиться о минимизации стоимости энергии, аппаратуры и внедрения своих алгоритмов локализации.

Плотность узлов. Многие алгоритмы локализации чувствительны к плотности расположения узлов. Например, алгоритмы, основанные на анализе числа скачков, требуют высокой плотности расположения узлов. Также алгоритмы, которые зависят от сигнальных узлов, сбоят, если плотность сигнальных узлов не достаточна в данной области. Итак, во время разработки или анализа важно заметить, что алгоритмы явно включают допущения о плотности, так как высокая плотность узлов иногда дорого обходится, если полностью не достижима.

Невыпуклые топологии. У алгоритмов локализации существует проблема определения координат у узлов, расположенных на периферии параметрического поля. Эта проблема связана с тем, что сигналы локализации поступают только со стороны центра сети. Она проявляется особенно в сетях с невыпуклой топологией: крайние или листовые узлы могут не выполнить процедуру локализации. Даже если локализация может быть выполнена, ее результаты могут привести к накоплению погрешности.

Помехи и физические особенности местности. Помехи и нерегулярность физического пространства ослабляют точность локализации. Большие преграды делают невозможным узлам находиться в зоне прямой видимости. Развертывание сети на траве, песке или почве может повлиять на радио и акустические дальномерные системы. В помещении естественные преграды — стены могут препятствовать измерениям. Все эти обстоятельства встречаются на практике, и системы локализации должны учитывать их.

Организация системы. Ниже приведена классификация алгоритмов локализации, основанная на их вычислительной организации.

Централизованные алгоритмы разрабатываются для выполнения на центральной машине с большим потенциалом вычислительной мощности. Узлы собирают информацию о физических параметрах объекта и передают ее на базовые станции для последующей обработки, после чего вычисленные координаты для каждого узла возвращаются в сеть. Централизованные алгоритмы обходят проблему ограниченности вычислительных ресурсов, однако — в ущерб затратам на передачу данных на базовую станцию и от базовой станции. Это принципиальное ограничение становится чувствительным при росте сети, при этом основная нагрузка ложится на узлы, ближайшие к базовым станциям. Частично проблема может быть решена установкой нескольких базовых станций.

Диаметральный подход — *распределенные алгоритмы*. Разрабатываются для работы в сети, используют массовый параллелизм и межузловые взаимодействия для компенсации дефицита вычислительных ресурсов. Часто распределенные алгоритмы используют подмножество данных для определения позиций каждого из узлов в отдельности, то есть облегченную аппроксимацию соответствующего централизованного алгоритма, в котором учитываются и используются все данные для единого вычисления координат.

Заключение

Результаты выполненных исследований существующих методов локализации узлов и рассмотренный спектр методов позволяет судить о точности и эффективности решения задачи позиционирования в сенсорных сетях.

Литература:

1. J. Hill, R. Szewczyk, A. Woo, S. Hollar, D. Culler, and K. Pister. System architecture directions for networked sensors. In Proceedings of the 9th International Conference on Architectural Support for Programming Language and Operating Systems(ASPLOS-IX), pages 93—104, Cambridge, Massachusetts, November 2000.
2. P. Bahl and V. Padmanabhan. Radar: An in-building rf-based user location and tracking system. In Proceedings of the 19th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communication Societies (INFOCOM 2000), pages 775—784, Tel-Aviv, Israel, March 2000.
3. Cameron Whitehouse. The Design of Calamari: An Ad-Hoc Localization System for Sensor Networks. Master's thesis, University of California at Berkeley, 2002.
4. L. Kleinrock and J. A. Silvester. Optimum transmission radii for packet radio networks or why six is a magic number. In Proceedings of the IEEE National Telecommunications Conference, pages 4.3.1—4.3.5, Birmingham, Alabama, December 1988.